



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 102 42 611 B4** 2009.12.03

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 42 611.2**  
 (22) Anmeldetag: **13.09.2002**  
 (43) Offenlegungstag: **26.06.2003**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **03.12.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01S 5/183** (2006.01)  
**H01S 5/20** (2006.01)  
**H01S 5/42** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**10/013108 07.12.2001 US**

(73) Patentinhaber:  
**Avago Technologies Fiber IP (Singapore) Pte. Ltd.,  
 Singapore, SG**

(74) Vertreter:  
**Dilg Haeusler Schindelmann  
 Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80636 München**

(72) Erfinder:  
**Kim, Seongsin, San Jose, Calif., US; Widjaja,  
 Wilson H., Cupertino, Calif., US; Xie, Suning, Santa  
 Clara, Calif., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

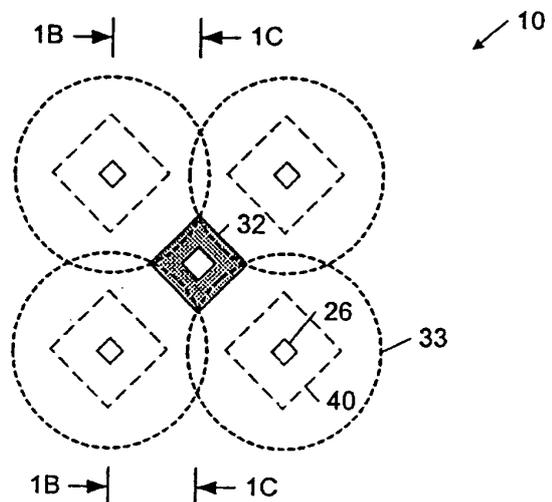
**US 58 96 408 A**  
**US 57 19 893 A**  
**US 62 08 681 B1**

**IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 7  
 (1999), S. 767-769**

(54) Bezeichnung: **Feuchtigkeitspassivierter planarer indexgeführter VCSEL, sowie Array und Verfahren**

(57) Hauptanspruch: Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (VCSEL) (10), der folgende Merkmale aufweist: eine vertikale Stapelstruktur, die eine im wesentlichen planare obere Oberfläche aufweist, die folgende Merkmale umfaßt:

einen oberen Spiegel (14),  
 einen unteren Spiegel (16),  
 eine Resonatorregion (12), die zwischen dem oberen Spiegel (14) und dem unteren Spiegel (16) angeordnet ist und eine aktive Lichterzeugungsregion (20) umfaßt, wobei mindestens entweder der obere Spiegel (14) oder der untere Spiegel (16) eine Schicht mit einer peripheren Region (28) aufweist, die infolge eines Kontaktierens mit einem Oxidationsmittel zu einem elektrischen Isolator oxidiert ist;  
 wobei die vertikale Stapelstruktur zwei oder mehr geätzte Löcher (26) definiert, die sich jeweils von der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche zu der oxidierten peripheren Region (28) erstrecken, wobei jedes der geätzten Löcher (26) durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) feuchtigkeitspassiviert ist.



## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf planare indexgeführte Oxid-Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (VCSELS) und Verfahren zum Herstellen derselben.

**[0002]** Ein VCSEL ist eine Laservorrichtung, die aus einer optisch aktiven Halbleiterschicht (z. B. AlInGaAs oder InGaAsP) gebildet ist, die zwischen einem Paar von hochreflektierenden Spiegelstapeln angeordnet ist, die aus Schichten von metallischem Material, dielektrischem Material oder epitaxial aufgewachsenem Halbleitermaterial gebildet sein können. In der Regel ist einer der Spiegelstapel weniger reflektierend als der andere ausgebildet, so daß ein Teil des kohärenten Lichts, das sich in einem Resonanzhohlraum aufbaut, der in der optisch aktiven Halbleiterschicht zwischen den Spiegelstapeln gebildet ist, von der Vorrichtung emittiert werden kann. In der Regel emittiert ein VCSEL Laserlicht von der oberen oder unteren Oberfläche des Resonanzhohlraums mit einer relativ geringen Strahldivergenz. VCSELS können in Singuletten, eindimensionalen oder zweidimensionalen Arrays angeordnet sein, auf einem Wafer getestet werden und ohne weiteres in ein optisches Sende-/Empfangsgerätmodul integriert sein, das mit einem faseroptischen Kabel gekoppelt sein kann.

**[0003]** Allgemein kann ein VCSEL als ein gewinngeführter VCSEL oder ein indexgeführter VCSEL charakterisiert werden. Ein Implantations-VCSEL ist der üblichste im Handel erhältliche gewinngeführte VCSEL. Ein Implantations-VCSEL umfaßt eine oder mehrere Hochwiderstandsimplantationsregionen zur Strombegrenzung und Parasitärverringern. Andererseits ist ein Oxid-VCSEL der üblichste lateral indexgeführte VCSEL. Ein Oxid-VCSEL umfaßt Oxidschichten (und möglicherweise Implantationsregionen) sowohl zur Strombegrenzung als auch zur optischen Begrenzung.

**[0004]** VCSELS und VCSEL-Arrays wurden bisher erfolgreich für einen Einmodenbetrieb und einen Mehrmodenbetrieb bei einer Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen (z. B. 650 nm, 850 nm, 980 nm, 1300 nm und 1550 nm) entwickelt. Der kommerzielle Erfolg der VCSEL-Technologie hängt jedoch zu einem großen Teil von einer Entwicklung von VCSEL-Strukturen ab, die durch eine hohe Leistungsfähigkeit und eine hohe Zuverlässigkeit charakterisiert sind.

**[0005]** Es wurden bisher Techniken zum Verbessern der Leistungsfähigkeit und der Zuverlässigkeit von VCSELS vorgeschlagen. Beispielsweise ist in dem Patent US 5,719,893 A ein Schema zum Passivieren von Steg- und Implantations-VCSELS gegen einen physischen und chemischen Schaden be-

schrieben. Gemäß diesem Schema bedeckt eine Schicht aus isolierendem Material die gesamte VCSEL-Struktur, einschließlich der lichtemittierenden Aperturregion und der umliegenden oberen Metallelektrode. Das isolierende Material weist eine optische Dicke auf, die ein integrales Mehrfaches einer Hälfte der Wellenlänge an Licht ist, die die VCSELS zu emittieren ausgelegt sind. Die Passivierungsschicht bedeckt die gesamte VCSEL-Vorrichtungsstruktur, um die Vorrichtung vor physischem und chemischem Schaden zu schützen.

**[0006]** Die US 5,896,408 A und die US 6,208,681 B1 beschreiben die oben erwähnten Oxid-VCSEL, bei denen einer der verwendeten Spiegel eine Schicht aus einem oxidierbaren Material aufweist. Um diese Schicht einem Oxidationsmittel auszusetzen, sind mehrere Löcher in der oberen Oberfläche des VCSEL gebildet, die bis zu der oxidierbaren Schicht reichen, und über die das Oxidationsmittel dieser Schicht zugeführt wird.

**[0007]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen zuverlässigen, qualitativ hochwertigen Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (VCSEL), ein Array aus solchen VCSELS und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen VCSELS zu schaffen.

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch einen Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (VCSEL) gemäß Anspruch 1, ein Array gemäß Anspruch 11 sowie ein Verfahren gemäß Anspruch 12 gelöst.

**[0009]** Die Erfindung stellt ein Schema (Systeme und Verfahren) dar, planare indexgeführte VCSELS zu passivieren, das sich der ungewöhnlichen Anfälligkeit dieser Vorrichtungen für Schäden annimmt, die ansonsten durch ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Ätzlöcher verursacht werden könnten, die verwendet werden, um die Indexführungsbegrenzungsregionen zu bilden.

**[0010]** In bezug auf einen Aspekt stellt die Erfindung einen VCSEL dar, der eine vertikale Stapelstruktur umfaßt, die eine im wesentlichen planare obere Oberfläche aufweist. Die vertikale Stapelstruktur umfaßt einen oberen Spiegel, einen unteren Spiegel und eine Resonatorregion, die zwischen dem oberen Spiegel und dem unteren Spiegel angeordnet ist und eine aktive Lichterzeugungsregion umfaßt. Zumindest entweder der obere Spiegel oder der untere Spiegel weist eine Schicht mit einer peripheren Region auf, die infolge einer Kontaktierung mit einem Oxidationsmittel zu einem elektrischen Isolator oxidiert ist. Die vertikale Stapelstruktur definiert zwei oder mehr geätzte Löcher, die sich jeweils von der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche zu der oxidierten peripheren Region erstrecken. Jedes der geätzten Löcher ist durch eine darüberliegende Feuch-

tigkeitsdurchdringungsbarriere feuchtigkeitspassiviert.

[0011] Ausführungsbeispiele der Erfindung können eines oder mehrere der folgenden Merkmale umfassen.

[0012] Die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere weist vorzugsweise eine Dicke auf, die ausgewählt ist, um ein beträchtliches vertikales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher zu verhindern. Bei manchen Ausführungsbeispielen weist die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere eine Siliziumnitridschicht mit einer Dicke von ungefähr 300 nm oder mehr auf.

[0013] Jedes der geätzten Löcher ist vorzugsweise durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere, welche einen lateralen Oberflächenbereich aufweist, der ausreichend groß ist, um eine beträchtliche Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere zu verhindern, feuchtigkeitspassiviert.

[0014] Durch einen einzigen durchgehenden Film aus Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial können mehrere geätzte Löcher feuchtigkeitspassiviert sein.

[0015] Der VCSEL kann eine obere Elektrode umfassen, die über der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur angeordnet ist und eine Lichtemissionsregion definiert, die im wesentlichen frei von jeglichem darüberliegenden Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial ist. Bei manchen Ausführungsbeispielen bedeckt die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere einen Hauptabschnitt der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur, der nicht die obere Elektrode und die Lichtemissionsregion ist.

[0016] Bei manchen Ausführungsbeispielen umfaßt die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere eine periphere Kante, die die obere Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur an einer Feuchtigkeitsdurchdringungschnittstelle schneidet. An der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur kann jedes der geätzten Löcher durch eine jeweilige periphere Kante definiert sein, bei der ein wesentlicher Abschnitt durch einen Abstand, der ausreichend ist, um ein beträchtliches laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher zu verhindern, von der Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle getrennt ist. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann beispielsweise ein beträchtlicher Abschnitt jeder der peripheren Kanten der geätzten Löcher um einen Abstand von ungefähr 15 µm oder mehr von der Feuchtigkeitsdurchdringungschnittstelle getrennt sein.

[0017] Bei einem anderen Aspekt weist die Erfindung ein Array aus zwei oder mehreren der oben beschriebenen VCSELS auf.

[0018] Bei einem anderen Aspekt weist die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen des oben beschriebenen VCSEL auf.

[0019] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0020] [Fig. 1A](#) eine schematische Draufsicht eines planaren VCSEL mit vier geätzten Löchern, die durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere feuchtigkeitspassiviert sind;

[0021] [Fig. 1B](#) eine schematische Querschnittsseitenansicht des planaren VCSEL der [Fig. 1A](#), die entlang der Linie 1B-1B genommen ist;

[0022] [Fig. 1C](#) eine schematische Querschnittsseitenansicht des planaren VCSEL der [Fig. 1A](#), die entlang der Linie 1C-1C genommen ist;

[0023] [Fig. 2](#) eine schematische Draufsicht eines planaren VCSEL mit vier geätzten Löchern, die durch eine darüberliegende strukturierte Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere feuchtigkeitspassiviert sind;

[0024] [Fig. 3](#) eine schematische Querschnittsseitenansicht einer oberen Oberflächenregion des planaren VCSEL, die einer Feuchtigkeitsumgebung ausgesetzt ist;

[0025] [Fig. 4](#) einen konzeptionellen Graphen einer VCSEL-Ausfallquote, die als Funktion der Dicke der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere dargestellt ist;

[0026] [Fig. 5](#) einen konzeptionellen Graphen einer Gesamtfilmbeanspruchung der Passivierungsschicht, die als Funktion der Oberfläche der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere dargestellt ist; und

[0027] [Fig. 6](#) eine schematische Draufsicht eines planaren VCSEL mit vier geätzten Löchern, die durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere feuchtigkeitspassiviert sind.

[0028] In der folgenden Beschreibung werden gleiche Bezugszeichen verwendet, um gleiche Elemente zu identifizieren. Ferner sollen die Zeichnungen wichtige Merkmale beispielhafter Ausführungsbeispiele auf schematische Weise veranschaulichen. Die Zeichnungen sollen nicht jedes Merkmal tatsächlicher Ausführungsbeispiele oder relative Abmessungen der gezeigten Elemente darstellen und sind nicht maßstabsgetreu.

[0029] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und

**Fig. 1C** umfaßt ein planarer indexgeführter VCSEL **10** bei einem Ausführungsbeispiel eine Resonatorregion **12**, die zwischen einem ersten Spiegelstapel **14** und einem zweiten Spiegelstapel **16** angeordnet und auf einem Substrat **18** gebildet ist. Die Resonatorregion **12** umfaßt eine oder mehrere aktive Schichten **20** (z. B. eine Quantenquelle oder einen oder mehrere Quantenpunkte), die zwischen einem Paar von Abstandshalterschichten **22**, **24** angeordnet sind. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann die aktive Schicht **20** über oder unter einer einzelnen Abstandshalterschicht angeordnet sein. Wie gezeigt ist, weist der VCSEL **10** bei diesem Ausführungsbeispiel eine planare Struktur auf, die eine Anzahl von Löchern **26** umfaßt, die eine Anzahl jeweiliger Seitenregionen des ersten Spiegelstapels **14**, die oxidiert werden sollen, freilegen bzw. exponieren bzw. kontaktieren. Zumindest ein Abschnitt **28** des ersten Spiegelstapels **14** ist von den freiliegenden Seitenregionen nach innen auf eine zentral angeordnete Aperturregion **30** hin oxidiert. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind vier Löcher **26** an Positionen geöffnet, die von der Mitte eines ersten elektrischen Kontakts **32** gleich weit entfernt sind. Löcher **26** erstrecken sich von der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** nach unten, zumindest zu der Schicht (oder den Schichten), die dem oxidierten Abschnitt **28** entspricht bzw. entsprechen. Wenn die VCSEL-Struktur einem erhitzten Wasserdampf ausgesetzt ist, tritt der erhitzte Wasserdampf in die Löcher **26** ein und oxidiert den Abschnitt **28** in einer radialen Richtung weg von den Löchern **26**. Der Oxidierungsvorgang setzt sich fort, bis die Oxidationsfront **33** von jedem Loch **26** in eine nicht-oxidierte Aperturregion **30** übergeht. Andere VCSEL-Ausführungsbeispiele können weniger oder mehr Freilegungslöcher **26** oder freigelegte Regionen mit anderen Formen, beispielsweise geteilten Bögen oder Ringen, umfassen.

**[0030]** Ein elektrischer Kontakt **32** zusammen mit einem zweiten elektrischen Kontakt **34**, der an dem gegenüberliegenden Ende der Vorrichtung angeordnet ist, ermöglichen, daß der VCSEL **10** durch eine geeignete Treiberschaltung getrieben wird. Im Betrieb ist an den elektrischen Kontakten **32**, **34** eine Betriebsspannung angelegt, um einen Stromfluß in dem VCSEL **10** zu erzeugen. Allgemein fließt Strom durch eine mittlere Region der VCSEL-Struktur, und ein Laser findet in einem mittleren Abschnitt der Resonatorregion **12** statt (im folgenden die „aktive Region“). Der oxidierte Abschnitt **28** des ersten Spiegelstapels **14** bildet eine Oxidbegrenzungsregion, die Träger und Photonen lateral begrenzt. Eine Trägerbegrenzung ergibt sich aus dem relativ hohen spezifischen elektrischen Widerstand der Begrenzungsregion, der bewirkt, daß elektrischer Strom vorzugsweise durch eine mittig angeordnete Region des VCSEL **10** fließt. Eine optische Begrenzung ergibt sich aus einer beträchtlichen Verringerung des Brechungsindex der Begrenzungsregion, die ein laterales Brechungsind-

exprofil erzeugt, das die Photonen, die in der Resonatorregion **12** erzeugt werden, führt. Die Träger- und optische laterale Begrenzung erhöht die Dichte von Trägern und Photonen in der aktiven Region und erhöht folglich die Effizienz, mit der Licht in der aktiven Region erzeugt wird.

**[0031]** Die aktive Schicht **20** kann aus AlInGaAs (d. h. AlInGaAs, GaAs, AlGaAs und InGaAs), InGaAsP (d. h. InGaAsP, GaAs, InGaAs, GaAsP und GaP), GaAsSb (d. h. GaAsSb, GaAs und GaSb), InGaAsN (d. h. InGaAsN, GaAs, InGaAs, GaAsN und GaN) oder AllnGaAsP (d. h. AllnGaAsP, AllnGaAs, AlGaAs, InGaAs, InGaAsP, GaAs, InGaAs, GaAsP und GaP) gebildet sein. Es können auch andere Quantenquellenschichtzusammensetzungen verwendet werden. Die erste und die zweite Abstandshalterschicht **22**, **24** können aus Materialien gebildet sein, die auf der Basis der Materialzusammensetzung der aktiven Schichten ausgewählt sind. Der erste und der zweite Spiegelstapel **14**, **16** umfassen jeweils ein System von abwechselnden Schichten aus Materialien mit einem unterschiedlichen Brechungsindex, das einen verteilten Bragg-Reflektor (DBR) bildet, der für eine gewünschte Betriebslaserwellenlänge (z. B. eine Wellenlänge im Bereich von 650 nm bis 1650 nm) ausgelegt ist. Beispielsweise können der erste und der zweite Spiegelstapel **14**, **16** aus abwechselnden Schichten aus AlGaAs mit einem hohen Aluminiumgehalt und aus InGaAs mit einem geringen Aluminiumgehalt gebildet sein. Die Schichten des ersten und des zweiten Spiegelstapels **14**, **16** weisen vorzugsweise eine effektive optische Dicke (d. h. die Schichtdicke multipliziert mit dem Brechungsindex der Schicht) auf, die ungefähr ein Viertel der Betriebslaserwellenlänge beträgt. Das Substrat **18** kann aus GaAs, InP, Saphir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oder InGaAs gebildet sein und kann ein undotierter, dotierter n-Typ (z. B. mit Si) oder ein dotierter p-Typ (z. B. mit Zn) sein. Eine Pufferschicht **36** kann auf das Substrat **18** aufgewachsen werden, bevor der VCSEL **10** gebildet wird. Bei der veranschaulichenden Darstellung der **Fig. 1** sind der erste und der zweite Spiegelstapel **14**, **16** so ausgelegt, daß Laserlicht von der oberen Oberfläche des VCSEL **10** emittiert wird. Bei anderen Ausführungsbeispielen können die Spiegelstapel **14**, **16** so ausgelegt sein, daß Laserlicht von der unteren Oberfläche des Substrats **18** emittiert wird.

**[0032]** Der VCSEL **10** kann durch konventionelle Prozesse eines epitaxialen Aufwachsens, beispielsweise metallorganische chemische Abscheidung aus der Dampfphase (MOCVD – metalorganic chemical vapor deposition) und Molekularstrahlepitaxie (MBE – molecular beam epitaxy), gebildet sein.

**[0033]** Wie in den **Fig. 1A**, **Fig. 1B** und **Fig. 2** gezeigt ist, umfaßt der VCSEL **10** eine Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40**, die über jedem der geätzten Löcher **26** liegt und jedes derselben passiviert.

Die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** nimmt sich der ungewöhnlichen Anfälligkeit dieser Vorrichtungen für Schäden an, die ansonsten durch ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Ätzlöcher **26** verursacht werden könnten. Insbesondere wurde beobachtet, daß nicht-passivierte und nicht hermetisch abgedichtete planare indexgeführte VCSELs in Umgebungen mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt einer hohen Quote eines sprunghaften Vollaussfalls unterworfen sind. Unter Bedingungen eines hohen Feuchtigkeitsgehalts können die Lebensdauer solcher VCSEL-Vorrichtungen auf eine Größenordnung von wenigen hundert Stunden begrenzt sein, was beträchtlich weniger ist als die Lebensdauer von  $10^5$  Stunden, die für ähnliche VCSEL-Vorrichtungen unter standardmäßigen rauen Alterungsbedingungen bei einer hohen Temperatur beobachtet wird. Bei dem veranschaulichten Ausführungsbeispiel entspricht die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** einer Dünnschicht, die zu einem Satz aus vier rechteckigen Flecken strukturiert ist. Jeder Fleck erstreckt sich über ein jeweiliges geätztes Loch **26**, um ein Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **26** zu verringern und dadurch einen mit Feuchtigkeit zusammenhängenden Schaden an dem VCSEL **10** beträchtlich zu verzögern oder effektiv zu verhindern. Die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** kann aus einem beliebigen elektrisch isolierenden oder feuchtigkeitsbeständigen Material gebildet sein, das mit der Prozeßtechnologie, die verwendet wird, um den VCSEL **10** herzustellen, kompatibel ist, einschließlich eines Nitridmaterials (z. B. Siliziumnitrid), eines Oxynitridmaterials (z. B. Siliziumoxynitrid) und eines Oxidmaterials (z. B. Siliziumdioxid).

**[0034]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) sollte die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** allgemein eine Dicke ( $t$ ) aufweisen, die ausreichend ist, um ein beträchtliches vertikales Eindringen von Feuchtigkeit **42** in die geätzten Löcher **26** zu verhindern. Wie in dem konzeptionellen Graphen der [Fig. 4](#) gezeigt ist, wurde beobachtet, daß die VCSEL-Ausfallquote in Umgebungen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt mit der Passivierungsschichtdicke dramatisch abnimmt, nachdem die Passivierungsschichtdicke eine erste Schwelle ( $T_1$ ) erreicht. Jenseits einer zweiten Schwelle ( $T_2$ ) ist der Rückgang der Ausfallquote jedoch wesentlich weniger ausgeprägt. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** aus Siliziumnitrid gebildet, das gemäß einem herkömmlichen Siliziumnitrid-Aufbringprozeß einer geringen Beanspruchung aufgebracht ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel beträgt die erste Schwellendicke ( $T_1$ ) ungefähr 300 nm, und die zweite Schwellendicke ( $T_2$ ) beträgt ungefähr 500 nm. Bei anderen Ausführungsbeispielen hängen die tatsächlichen Werte für die Schwellendicken  $T_1$  und  $T_2$  von einer Reihe von Faktoren ab, einschließlich der Materialeigenschaften der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere.

**[0035]** Zusätzlich dazu, daß sie eine ausreichende Filmdicke aufweist, sollte sich die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** um einen Abstand ( $d_1$ ,  $d_2$ ), der ausreichend ist, um ein beträchtliches laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **26** zu verhindern, über die Kanten der geätzten Löcher **26** hinaus lateral erstrecken. Ein laterales Eindringen von Feuchtigkeit kann sich aus einem Leck entlang eines Pfades ergeben, der sich von den geätzten Löchern zu einer Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle **46** erstreckt, die an dem Schnittpunkt der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** und der peripheren Kanten der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** gebildet ist. Bei Ausführungsbeispielen, die eine Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere aus Siliziumnitrid aufweisen, weisen die Trennungsabstände ( $d_1$ ,  $d_2$ ) zwischen den peripheren Kanten der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere und den peripheren Kanten der geätzten Löcher an der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** vorzugsweise eine Größenordnung von ungefähr 15  $\mu\text{m}$  oder mehr auf. Selbstverständlich kann der Trennungsabstand zwischen der peripheren Kante der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere und den peripheren Kanten der geätzten Löcher je nach anderen Vorrichtungsstrukturen auf der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** in einer oder mehreren Richtungen beschränkt sein. Beispielsweise ist die Lichtemissionsregion bei manchen Ausführungsbeispielen im wesentlichen frei von jeglichem darüberliegendem Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial, wobei der Trennungsabstand in diesem Fall den Trennungsabstand zwischen den geätzten Löchern und der Lichtemissionsregion nicht übersteigen kann.

**[0036]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) kann sich ein laterales Eindringen von Feuchtigkeit vorwiegend aus einer Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** von der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** ergeben. Wie in dem konzeptionellen Graphen der [Fig. 5](#) gezeigt ist, nimmt die Gesamtfilmbeanspruchung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** – die mit der Wahrscheinlichkeit korreliert, daß die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** von der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** delaminiert – mit dem Oberflächenbereich exponential ab. Um ein laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **26** zu verringern, sollte die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** somit in Flecken strukturiert sein, von denen jeder einen lateralen Oberflächenbereich aufweist, der ausreichend ist, um die Filmbeanspruchung pro Flächeneinheit auf ein Maß zu reduzieren, das eine beträchtliche Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere vermeidet. Wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, kann die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** bei manchen Ausführungsbeispielen als ein einziger durchgehender Materialfilm gebildet sein, der über einem beträchtlichen

Abschnitt der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14**, einschließlich jedes der geätzten Löcher **26**, liegt. Bei diesen Ausführungsbeispielen weist die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** eine Fläche auf, die ausreichend ist, um eine beträchtliche Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** zu vermeiden, und die dadurch ein laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **26** beträchtlich verringert. Allgemein kann sich die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** über einen so großen Teil der oberen Oberfläche des ersten Spiegelstapels **14** erstrecken, wie zur Verfügung steht. Bei den Ausführungsbeispielen der [Fig. 6](#) können sich Metalleitungen **50**, **52** von der Elektrode **32** über die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** zu Verbindungsanschlußflächen **54**, **56** erstrecken, die ebenfalls über der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** angeordnet sind.

**[0037]** Es wurde gezeigt, daß VCSEL-Vorrichtungen, die eine Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **40** aus Siliziumnitrid und den in [Fig. 6](#) gezeigten Oberflächenaufbau und eine Dicke von 500 nm aufweisen, in Umgebungen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt eine Lebensdauer aufweisen, die zehnmal länger ist als die Lebensdauer nicht-passivierter Vorrichtungen.

**[0038]** Andere Ausführungsbeispiele fallen in den Schutzbereich der Patentansprüche. Obwohl die obigen Ausführungsbeispiele in Verbindung mit AlGaAs-Spiegelstapelssystemen beschrieben sind, können beispielsweise auch andere Halbleiterlegierungszusammensetzungen oder dielektrische Schichten verwendet werden, um die DBR-Spiegelstrukturen zu bilden.

### Patentansprüche

1. Vertikalresonatoroberflächenemissionslaser (VCSEL) **(10)**, der folgende Merkmale aufweist: eine vertikale Stapelstruktur, die eine im wesentlichen planare obere Oberfläche aufweist, die folgende Merkmale umfaßt:  
einen oberen Spiegel **(14)**,  
einen unteren Spiegel **(16)**,  
eine Resonatorregion **(12)**, die zwischen dem oberen Spiegel **(14)** und dem unteren Spiegel **(16)** angeordnet ist und eine aktive Lichterzeugungsregion **(20)** umfaßt,  
wobei mindestens entweder der obere Spiegel **(14)** oder der untere Spiegel **(16)** eine Schicht mit einer peripheren Region **(28)** aufweist, die infolge eines Kontaktierens mit einem Oxidationsmittel zu einem elektrischen Isolator oxidiert ist;  
wobei die vertikale Stapelstruktur zwei oder mehr geätzte Löcher **(26)** definiert, die sich jeweils von der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche zu der oxidierten peripheren Region **(28)** erstrecken, wobei jedes der geätzten Löcher **(26)** durch eine darüberlie-

gende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** feuchtigkeitspassiviert ist.

2. VCSEL **(10)** gemäß Anspruch 1, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** eine Dicke aufweist, die ausgewählt ist, um ein beträchtliches vertikales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **(26)** zu verhindern.

3. VCSEL **(10)** gemäß Anspruch 2, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** eine Siliziumnitridschicht aufweist, die eine Dicke von ungefähr 300 nm oder mehr aufweist.

4. VCSEL **(10)** gemäß Anspruch 3, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** eine Siliziumnitridschicht aufweist, die eine Dicke von ungefähr 500 nm oder mehr aufweist.

5. VCSEL **(10)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem jedes der geätzten Löcher **(26)** durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)**, die einen lateralen Oberflächenbereich aufweist, der ausreichend ist, um eine beträchtliche Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** zu verhindern, feuchtigkeitspassiviert ist.

6. VCSEL **(10)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem mehrere geätzte Löcher **(26)** durch einen einzigen durchgehenden Film aus Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial feuchtigkeitspassiviert sind.

7. VCSEL **(10)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, der ferner eine obere Elektrode **(32)** aufweist, die über der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur angeordnet ist und eine Lichtemissionsregion definiert, die im wesentlichen frei von jeglichem darüberliegendem Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial ist.

8. VCSEL **(10)** gemäß Anspruch 7, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** einen Hauptabschnitt der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur, der nicht die obere Elektrode **(32)** und die Lichtemissionsregion ist, bedeckt.

9. VCSEL **(10)** gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem:  
die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere **(40)** eine periphere Kante umfaßt, die die obere Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur an einer Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle **(46)** schneidet; und  
an der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur jedes der geätzten Löcher **(26)** durch eine jeweilige periphere Kante definiert ist, die einen beträchtlichen Abschnitt aufweist, der um einen Abstand, der ausreichend ist, um ein beträchtliches laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher **(26)** zu verhindern, von der Feuchtigkeitsdurchdringungs-

schnittstelle (46) getrennt ist.

10. VCSEL (10) gemäß Anspruch 9, bei dem ein beträchtlicher Abschnitt jeder der peripheren Kanten der geätzten Löcher (26) um einen Abstand von ungefähr 15 µm oder mehr von der Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle (46) getrennt ist.

11. Array aus zwei oder mehr Vertikalresonatoroberflächenemissionslasern (VCSELs) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10.

12. Verfahren zum Herstellen eines Vertikalresonatoroberflächenemissionslasers (VCSEL), das folgende Schritte aufweist:

Bilden einer vertikalen Stapelstruktur, die eine im wesentlichen planare Oberfläche aufweist, die folgende Merkmale umfaßt:

einen oberen Spiegel (14),

einen unteren Spiegel (16),

eine Resonatorregion (12), die zwischen dem oberen Spiegel (14) und dem unteren Spiegel (16) angeordnet ist und eine aktive Lichterzeugungsregion (20) umfaßt,

wobei mindestens entweder der obere Spiegel (14) oder der untere Spiegel (16) eine Schicht mit einer peripheren Region (28) aufweisen, die infolge eines Kontaktierens mit einem Oxidationsmittel zu einem elektrischen Isolator oxidiert ist, wobei die vertikale Stapelstruktur zwei oder mehr geätzte Löcher (26) definiert, die sich jeweils von der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche zu der oxidierten peripheren Region (28) erstrecken; und

Passivieren jedes der geätzten Löcher (26) durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40)

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) eine Dicke aufweist, die ausgewählt ist, um ein beträchtliches vertikales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher (26) zu verhindern.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) eine Siliziumnitridschicht mit einer Dicke von ungefähr 300 nm oder mehr aufweist.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) eine Siliziumnitridschicht mit einer Dicke von ungefähr 500 nm oder mehr aufweist.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 15, bei dem jedes der geätzten Löcher (26) durch eine darüberliegende Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40), die einen lateralen Oberflächenbereich aufweist, der ausreichend ist, um eine beträchtliche Delaminierung der Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) zu verhindern, feuchtigkeitspassiviert wird.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 16, bei dem mehrere geätzte Löcher (26) durch einen einzigen durchgehenden Film aus Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial feuchtigkeitspassiviert werden.

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 17, das ferner die Schritte des Anordnens einer oberen Elektrode (32) über der im wesentlichen planaren oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur und des Definierens einer Lichtemissionsregion, die im wesentlichen frei von jeglichem darüberliegendem Feuchtigkeitsdurchdringungsbarrierenmaterial ist, aufweist.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 18, bei dem die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) einen Hauptabschnitt der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur, der nicht die obere Elektrode (32) und die Lichtemissionsregion ist, bedeckt.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 19, bei dem:

die Feuchtigkeitsdurchdringungsbarriere (40) eine periphere Kante umfaßt, die die obere Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur an einer Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle (46) schneidet; und an der oberen Oberfläche der vertikalen Stapelstruktur jedes der geätzten Löcher (26) durch eine jeweilige periphere Kante definiert ist, die einen beträchtlichen Abschnitt aufweist, der um einen Abstand, der ausreichend ist, um ein beträchtliches laterales Eindringen von Feuchtigkeit in die geätzten Löcher (26) zu verhindern, von der Feuchtigkeitsdurchdringungsschnittstelle (46) getrennt ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

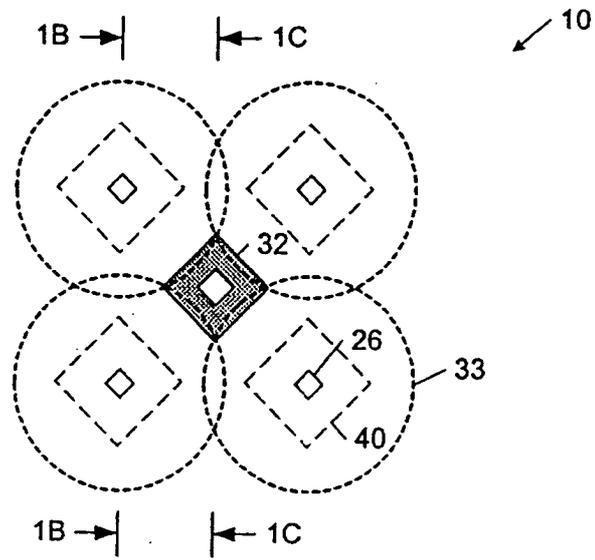


FIG. 1A

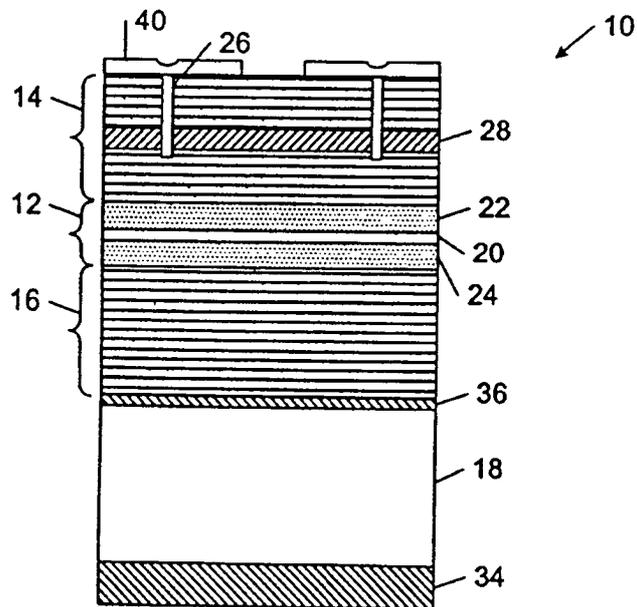


FIG. 1B

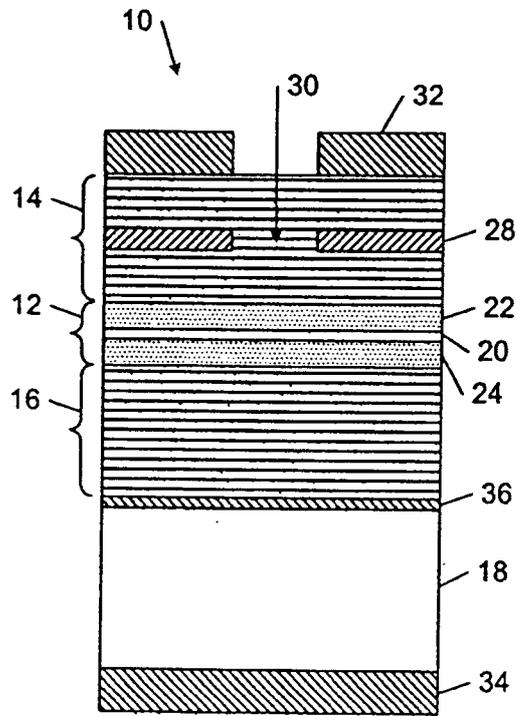


FIG. 1C

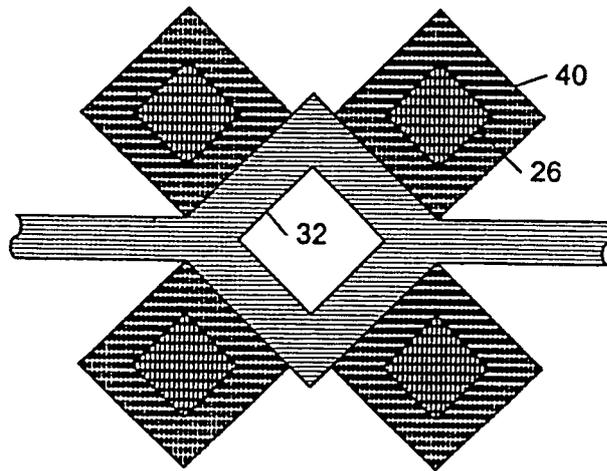


FIG. 2

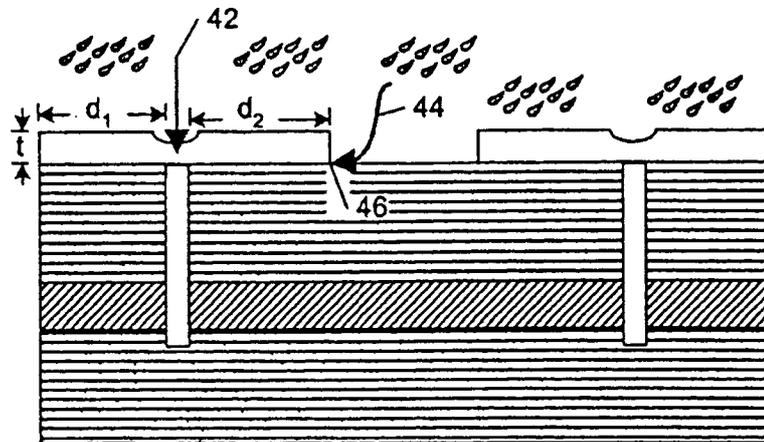


FIG. 3

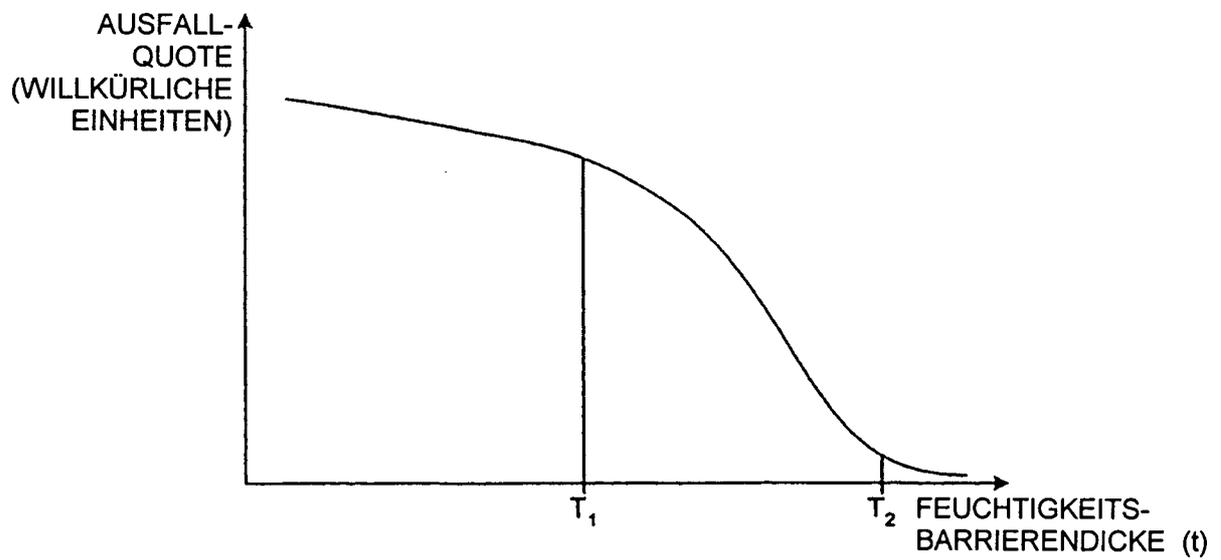


FIG. 4

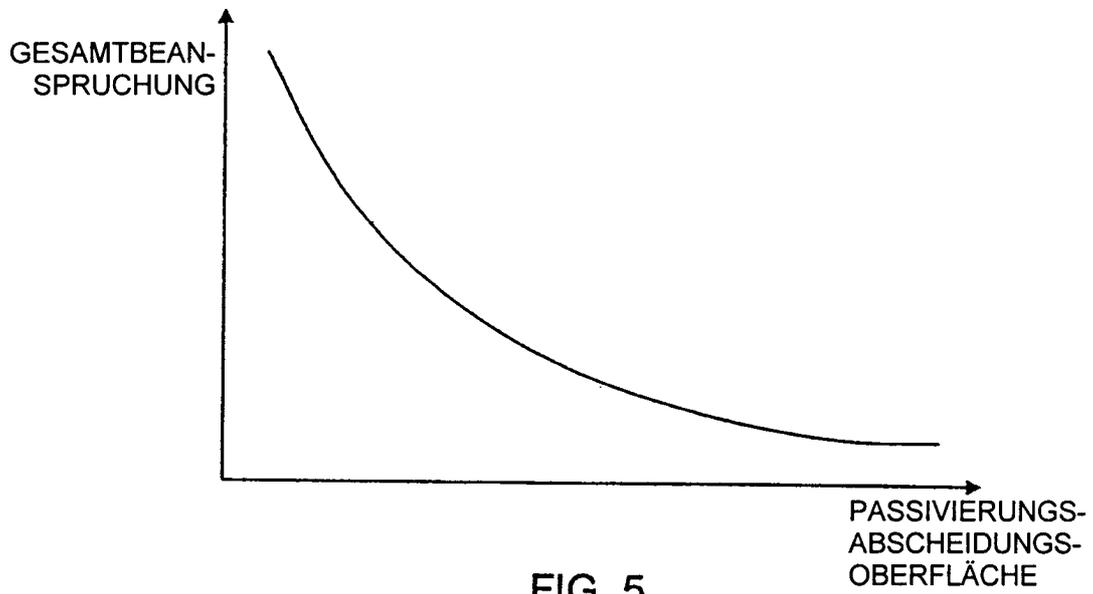


FIG. 5

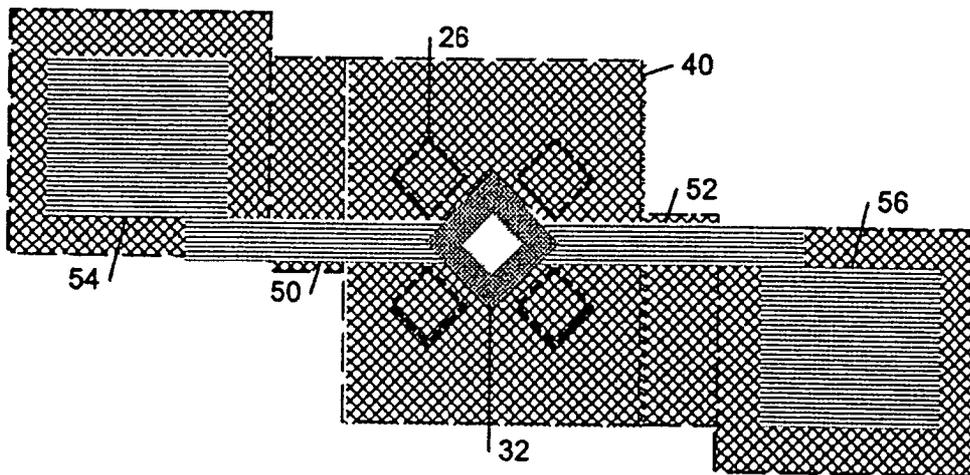


FIG. 6